

online | Vortrag der Gesundheitstechnischen Gesellschaft am 17. Februar 2022.

Instationäre und stationäre thermische Behaglichkeit – Grenzen von Strahlungssystemen

Joachim Seifert, Dresden

Einleitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Seifert, TU Dresden und TU Berlin, referierte am 17. Februar vor der Gesundheitstechnischen Gesellschaft über thermische Behaglichkeit, transiente Analysen und maximale Oberflächentemperaturen von Deckenheizsystemen. Der Fachbeitrag liefert Antworten auf wichtige Fragestellungen und fasst wesentliche Erkenntnisse aus dem Vortrag zusammen.

Zu Beginn stellte Dipl.-Ing. Maximilian Beyer, TU Dresden, das Ende Januar 2022 abgeschlossene Forschungsprojekt PL-Reg vor: Bewertung hybrider Energieerzeuger inklusive eines plattformübergreifenden Systemreglers für den Gebäudebereich.

Warum ist das Thema so relevant?

Thermische und hygienische Behaglichkeit ist das Ziel, welches mit technischen Systemen im Raum erreicht werden soll. Im Vortrag wird der Aspekt der thermischen Behaglichkeit aufgegriffen und hier speziell transiente Vorgänge betrachtet. Zusätzlich werden Aspekte zu maximalen Deckenoberflächentemperaturen präsentiert, die aus einer neuen Behaglichkeitsuntersuchung resultieren. Die Ergebnisse liefern wichtige Randbedingungen für die Auslegung und für den Betrieb von bauteilintegrierten Systemen im Gebäudebereich.

Thermische Behaglichkeit

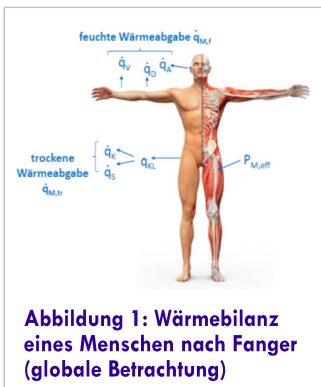


Abbildung 1: Wärmebilanz eines Menschen nach Fanger (globale Betrachtung)

Zur Thermischen Behaglichkeit gab es bereits in der Vergangenheit umfangreiche Erkenntnisse. Maßgeblich ist die Universität in Kopenhagen mit der Gruppe um Fanger und Olesen. Sie haben in den zurückliegenden Dekaden sehr gute Modelle erstellt, welche die Komfortansprüche des Menschen abbilden mittels PMV- und PPD-Index als globale Kriterien und zusätzlich über lokale Kriterien. Das ist heute Stand der Technik. Arbeitsfähigkeit, Bruttoenergieumsatz und Wärmeabgabe des Menschen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Die Modelle, die auch normativ eingebunden werden, sind meist stationär. Was fehlt sind Optionen, instationäre Aspekte mit zu betrachten.

In der Wissenschaft gibt es dazu fortführende Modelle, die den Körper zerlegen in bestimmte Körperregionen und dann mit entsprechenden Regionen-Modellen einen Gesamtzustand detektieren. Im Instationären sieht es wesentlich einfacher aus. Die Arbeitsgruppe der TU Dresden verfolgt diesen Ansatz und die Frage, ob man über instationäre thermische Behaglichkeit einfache Aussagen generieren kann, mit denen Anlagen technisch beeinflusst und regelungstechnische Verfahren abgeleitet werden können. Das Team der TU Dresden geht davon aus, dass zukünftige Neubauten keine komplette flächige Beheizung, auch keine Fußbodenheizung benötigen, sondern aktivierbare Zonen abhängig vom Aufenthaltsort des Nutzers, z.B. am Abend der Bereich Wohnraum, am Morgen der Bereich Küche. In anderen Bereichen könnten die Raumtemperaturen dann deutlich niedriger sein und so zur Energieeinsparung beitragen. Von diesen zwei Gedanken – Instationarität und lokale Verhältnisse – geleitet führt die Arbeitsgruppe Untersuchungen durch.

Operative Raumtemperatur

Die energetischen Berechnungsnormen EN 12831 / EN 16798-1 und DIN V 18599-5 gehen von einem symmetrischen Toleranzband aus, das in beide Richtungen geht. Ist das überhaupt so? Diese Frage ist z.B. im Kontext der EPBD-Richtlinie hochaktuell. Wer die seit 11-2021 aufgekommene Diskussion verfolgt stellt fest: Im Rahmen der europäischen Richtlinien werden Indoor-Air-Quality und Indoor-Climate mehr als 20mal genannt. Das heißt, es gibt einen ganz großen Fokus auf ‚healthy‘ Gebäude. Indoor-Air-Quality und die thermische Behaglichkeit als zweiter Aspekt werden zukünftig deutlich mehr in den Fokus geraten. An dieser Stelle sei auch verwiesen auf die europäische Norm 16798 Teil 1, die aktuell im Gespräch ist und ebenfalls überarbeitet wird. Die hinterlegten Eingangsparameter für die energetische Berechnung und für das Auslegen von Anlagen sind maßgebend dafür, wonach Anlagen geplant werden. Die Untersuchungen der TU Dresden haben auch deshalb einen hohen Stellenwert.

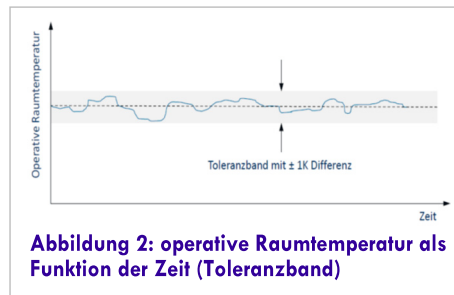
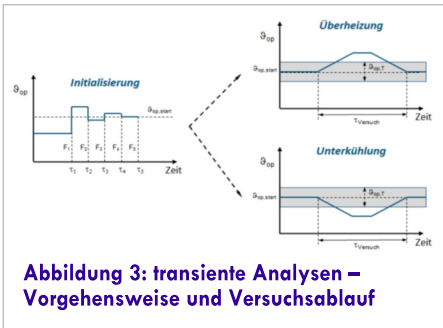


Abbildung 2: operative Raumtemperatur als Funktion der Zeit (Toleranzband)

Transiente Analysen

Das Einzige, was man in heutigen Normen findet, sind Über- und Unterschreitungshäufigkeiten sowie einfache Grenzangaben zu Temperaturrampen, -sprüngen und -drifts. Das ist in der ISO 7730 genormt und das was eingehalten werden muss. Das Team der TU Dresden hat sich gefragt: Was kann man machen? Was ist Gegenstand des Ganzen, was ist die Grundvoraussetzung dazu? Als erstes wurde die instationäre thermische Behaglichkeit untersucht. Für die Initialisierung wählten die Probanden eine operative Raumtemperatur. Dann wurden Phasen der Überheizung und der Unterkühlung gefahren und bewertet mittels Fragebogen (momentane Raumtemperatur, Änderungswunsch, Empfindung, Annehmbarkeit); gewählter Temperaturgradient $\Delta\vartheta / \Delta\tau = 2 \text{ K/h}$.



Bei der Überheizung wurde die Temperatur deutlich über das Toleranzband hinaus erhöht. Ziel des Versuches war, die jeweiligen instationären Effekte herauszuarbeiten und herauszufinden, fühlen sich die Probanden wohl, ab welchen Punkten gibt es kritische Momente, dies auch im Hinblick auf die Dynamik, wann tritt so etwas auf, wie groß ist das jeweilige Beharrungsvermögen, welche Rampen kann man fahren.

Die Rampen symbolisieren die Anheizvorgänge in den Morgenstunden, die Abheizvorgänge in den Abendstunden und Flexibilitäten aus Sicht des Energiesystems, d.h. kann man eine Überheizung der Raumtemperatur fahren in Zeitengünstiger Energie, um dann in Zeiten, wo sie etwas teurer ist, weniger Energie zu verbrauchen.

Das erste wesentliche Ergebnis:

Die Hauptanzahl der Probanden legt als operative Raumtemperatur, also dem Mittel aus der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur, einen Wert zwischen 21,5°C bis 22°C fest. Es gibt einige wenige Probanden, die eher höhere Temperaturen zwischen 22°C bis 23°C bevorzugten. Alles, was unterhalb von 21,5°C lag, wurde de facto nicht mehr von den Probanden gewählt.

Um dieses erste Ergebnis auch normativ abzubilden, müsste man den Betrieb von Anlagen in jedem Fall zu höheren Temperaturen hin verschieben.

Im Falle der Überheizung wurde deutlich:

Es gibt keine Beeinträchtigungen oder ein negatives Votum der Probanden hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit. Die Klimabewertung ist fast neutral. Wird anschließend gekühlt, melden die Probanden ab einem bestimmten Punkt und einem Zeitverzug von 10 bis 15 Minuten, dass es ihnen zu kalt wird.

Was kann man daraus erkennen? Es gibt einen kapazitiven Effekt, dann reagieren die Nutzer, die aus einem hohen Temperaturniveau kommen. Die Nutzer tolerieren ein Überheizen, man adaptiert sich an höhere Temperaturen und akzeptiert diese. Kommt man dann zurück zu den Ursprüngen, dem selbstgewählten Temperaturniveau, gibt es negative Bewertungen. Der Klimawunsch ist, zu höheren Temperaturen zu kommen. Damit lassen sich die Verschwendungspotenziale im Wohnungsbau hin zu höheren Temperaturen gut beschreiben.

Das zweite wesentliche Ergebnis:

Unterkühlung wird sofort und unmittelbar detektiert. Die Klimabewertung der Probanden ist nicht mehr so gut, sie äußern einen Änderungswunsch hin zu höheren Temperaturen. Um das zu interpretieren, muss man ganz klar sagen, dass es nach Auffassung der Arbeitsgruppe das symmetrische Toleranzband nicht gibt, so, wie es in den Normen im Moment hinterlegt ist.

Das Team würde dort gerne eine Änderung erwirken und die Symmetrie in diesen Beschreibungen revidieren. In den Untersuchungen mit dieser Probandengruppe, und immer mit diesem Fokus gesehen, wurde festgestellt, dass ab ungefähr 0,1 bis 0,15 – manchmal auch 0,2 Kelvin – niedrigere Temperaturen als die selbstgewählte Komforttemperatur, von den Probanden detektiert werden mit dem Änderungswunsch zu höheren Temperaturen. Verändert sich der Gradient auf der rechten Seite wieder hin zum entsprechenden Temperatur-Ausgangsniveau, ist sehr schnell festzustellen, dass der Änderungswunsch geringer und die Klima-Bewertung wieder positiver gesehen wird. Das ist interessant für den Anheizvorgang in den Morgenstunden und bedeutet: Bei gut gewähltem Gradienten kann man etwas später anheizen. Das hilft bei der Energieeinsparung als Instrument flexibler Anlagenregelung.

Analysen zu Deckenheiz- und Kühlsystemen

In einem zweiten Versuchsaufbau galt es zu klären: wie stark kann man mit lokaler thermischer Behaglichkeit arbeiten? Die einfachste lokale thermische Behaglichkeit, die zur Beheizung von Gebäuden diskutiert wird, ist die über Flächenheizsysteme an der Decke. Sie sind besonders geeignet, auch im Neubaubereich. Sie haben einen zweiten Effekt. Man kann im Sommer damit kühlen. Wesentliche Frage war, kann man die Deckentemperatur im Hinblick auf die Heizung erhöhen, um höhere Heizlasten zu generieren, und wie fühlen sich dort Probanden.

Die Strahlungsasymmetrien wurden in zwei Halbräumen untersucht. Im ersten Versuch wurde der Dummy Bob als Strömungshindernis in den Klimaraum gesetzt und rein physikalische Untersuchungen bei invers beheizter Decke und Fußboden durchgeführt. Die Temperaturverteilung an Kopf, Schulter und Oberschenkel, zeigt die Thermografie (Abbildung 4).

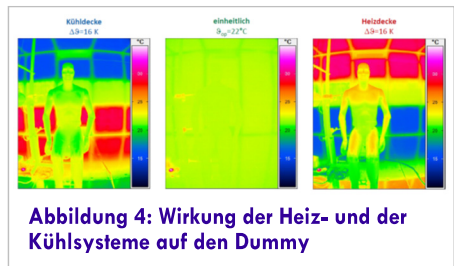
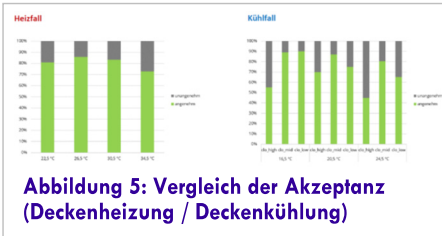


Abbildung 4: Wirkung der Heiz- und der Kühlsysteme auf den Dummy

Dann erfolgte der Versuch mit Probanden. Im Heizfall ist das thermische Empfinden eher im neutralen Bereich angesiedelt. Bei größerer Asymmetrie äußerten die Probanden den Wunsch, den unteren Halbraum etwas wärmer zu haben. Ursache hierfür ist das Empfinden an den Füßen. In einer anschließenden Befragung wurde die Bewertung deshalb aufgeteilt in die lokalen Regionen Kopf und Füße. Dabei hat sich herausgestellt: im oberen Halbraum sind Deckenoberflächentemperaturen von 34°C für die Probanden noch akzeptabel. Oberflächentemperaturen von $34,5^\circ\text{C}$ sollte dann allerdings nicht mehr überschritten werden.

Im Kühlfall variierten die Ergebnisse mit der Bekleidung der Probanden (clo-Werte). Das thermische Empfinden für Deckenkühlung war relativ neutral. Wie die Bewertungen der Probanden belegen, kann Deckenkühlung akzeptabel gefahren werden im Bereich $16,5^\circ\text{C}$ bis 20°C . Der Änderungswunsch war detektierbar. Es gibt lokale Effekte im Bereich Kopf und Füße. Diese Aspekte muss man berücksichtigen.



Betrachtet man die Akzeptanz in der Gesamtheit ist festzustellen, dass höhere Temperaturen im Heizfall als angenehm wahrgenommen werden. Der Grenzwert für den Heizfall liegt bei 34,5°C. Im Kühlfall haben die Lokalität und der Bekleidungsstandard wesentlichen Einfluss auf das Empfinden (Abbildung 5).

Fazit

Bei der Untersuchung transienter Bedingungen ist kein symmetrisches Toleranzband zu detektieren. Temperaturerhöhungen werden akzeptiert und sind Indikator für energetisches Verschwendungspotential. Geringere Temperaturen werden nicht akzeptiert. Bereits bei einer Temperaturabsenkung von 0,2 K erfolgt ein negatives Votum. Deckenbeheizung ist in modernen Gebäuden und im Altbau möglich. Deckenoberflächentemperaturen von 34°C werden akzeptiert. Die Änderung der EN 1264 als Auslegungsnorm für Flächensysteme ist angeraten. Ebenso angeraten ist die Überarbeitung der ISO 7730 inklusive stärkerer Aufnahme von transienten Kriterien.

Autor | Referent

Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Seifert, Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, joachim.seifert@tu-dresden.de und Einstein Center Digital Future (ECDF), TU Berlin, joachim.seifert@tu-berlin.de



Copyright © 2022

Gesundheitstechnische Gesellschaft e.V. (GG) – Technisch-wissenschaftliche Vereinigung

Medien | Publikation

Der Vortrags-Mitschnitt ist abrufbar im **Themenportal** und bei **youtube**.

IMPRESSUM

Herausgeber Gesundheitstechnische Gesellschaft e. V. (GG) – Technisch-wissenschaftliche Vereinigung

Vorsitzender Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel, Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Geschäftsstelle: Lotzestraße 26, 12205 Berlin, Fon +49(30) 81294527, www.ggberlin.de

Geschäftsführerin: Angelika Bopp, Assessorin d. HLA

Bezug Die GG | Nachrichten werden an Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft geliefert. Der Bezugspreis ist im Jahresbeitrag enthalten.

Alle in den GG | Nachrichten enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der GG.

V.i.S.d.P.: Prof. Dr.-Ing. Matthias Kloas, planungsteam energie + bauen

Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht immer die Meinung der Redaktion wieder.